

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 09-145721

(43)Date of publication of application : 06.06.1997

(51)Int.Cl.

G01N 37/00

G01B 21/30

G02B 21/00

H01J 37/28

(21)Application number : 07-304209

(71)Applicant : OLYMPUS OPTICAL CO LTD

(22)Date of filing : 22.11.1995

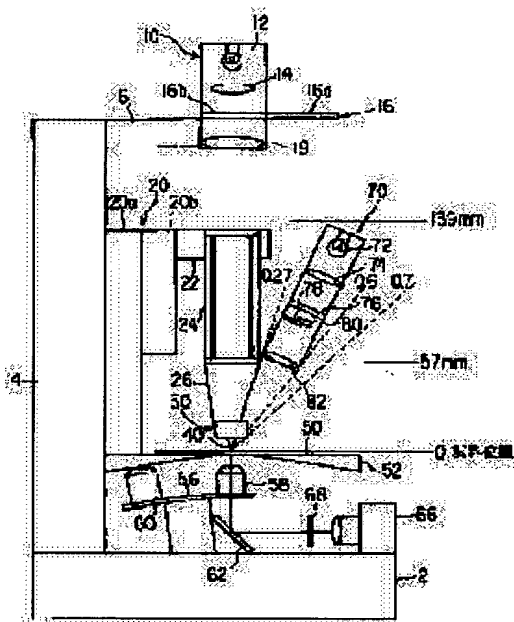
(72)Inventor : YAGI AKIRA

(54) OPTICAL MICROSCOPE INTEGRATED SCANNING PROBE MICROSCOPE

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide an optical microscope integrated scanning probe microscope for observing an optical microscope using a large-magnification objective lens.

SOLUTION: A cylindrical piezoelectric actuator 24 is fixed to an arm 22 which is supported by a Z stage 20 and a head 30 for mounting a cantilever chip 40 is fixed to the lower edge via a head supporting member 26. A revolver 56 is located below a sample stand 52 and either an objective lens 58 for the phase difference observation method and an objective lens 60 with a large-magnification of NA for the modulation contrast method is selectively arranged at a specific position. A lighting system 10 for observing by the phase difference observation method is supported at the upper portion of a cylindrical piezoelectric actuator 24. An inclination lighting system 70 for observing by the modulation contrast method is provided outside the cylindrical piezoelectric actuator 24 and a modulator 68 is arranged on the injection pupil surface of the objective lens 60 at that time.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2000 Japanese Patent Office



PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **09145271 A**(43) Date of publication of application: **06 . 06 . 97**

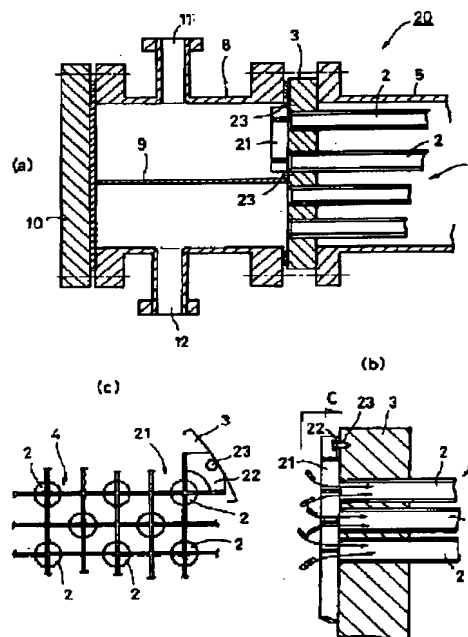
(51) Int. Cl

F28D 7/06(21) Application number: **07326338**(22) Date of filing: **21 . 11 . 95**(71) Applicant: **ISHIKAWAJIMA HARIMA HEAVY
IND CO LTD**(72) Inventor: **IKEDA MASAO****(54) HEAT EXCHANGER****(57) Abstract:**

PROBLEM TO BE SOLVED: To enable prevention of an inlet attack of a heat transfer tube and also simple and highly precise execution of flaw-detecting inspection or the like.

SOLUTION: A fluid flowing into a heat transfer tube group 4 is straightened beforehand by a straightening grating 21 fitted by a bolt 23 to a tube plate 3 in the front of inlets of the heat transfer tube group 4. Thereby an inlet attack is prevented and, on the other hand, simple removal with the straightening grating 21, as one body, can be executed on the occasion of flaw-detecting inspection or the like by loosening the bolt 23 fixing the straightening grating 21.

COPYRIGHT: (C)1997,JPO



(51)Int.Cl. ⁸	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
G 0 1 N 37/00			G 0 1 N 37/00	A
G 0 1 B 21/30			G 0 1 B 21/30	Z
G 0 2 B 21/00			G 0 2 B 21/00	
H 0 1 J 37/28			H 0 1 J 37/28	Z

審査請求 未請求 請求項の数3 O L (全 7 頁)

(21)出願番号 特願平7-304209

(22)出願日 平成7年(1995)11月22日

(71)出願人 000000376

オリンパス光学工業株式会社

東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号

(72)発明者 八木 明

東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号 オリ

ンパス光学工業株式会社内

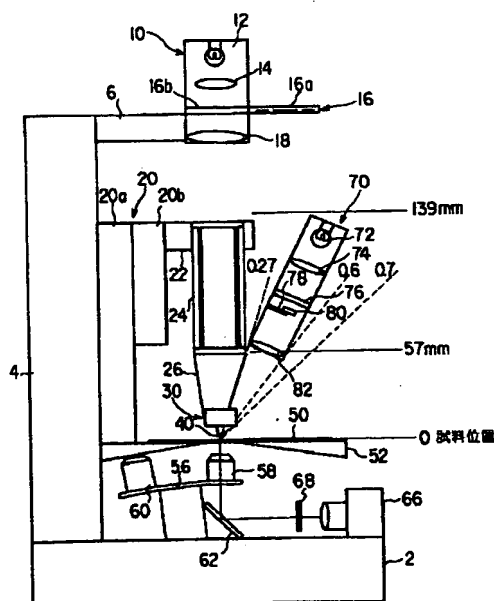
(74)代理人 弁理士 鈴江 武彦

(54)【発明の名称】 光学顕微鏡一体型走査型プローブ顕微鏡

(57)【要約】

【課題】高倍率の対物レンズを用いて光学顕微鏡観察を行える光学顕微鏡一体型走査型プローブ顕微鏡を提供する。

【解決手段】Zステージ20に支持されたアーム22には円筒型圧電アクチュエーター24が固定され、その下端にはヘッド支持部材26を介して、カンチレバーチップ40を取り付けるヘッド30が固定されている。試料台52の下にはレボルバー56があり、位相差観察法のための対物レンズ58と変調コントラスト法のための高倍率高NAの対物レンズ60のいずれかが所定位置に選択的に配置される。円筒型圧電アクチュエーター24の上方には位相差観察法による観察のための照明系10が支持されている。円筒型圧電アクチュエーター24の外側には変調コントラスト法による観察のための斜照明系70が設けられており、その際には対物レンズ60の射出瞳面にモジュレーター68が配置される。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 探針先端と試料表面の間の相互作用を検出しながら探針と試料の間で走査を行って試料の凹凸情報や物性情報を取得する走査型プローブ顕微鏡において、探針と試料の間の走査を行うための円筒型圧電アクチュエーターと、円筒型圧電アクチュエーターの内側を通して試料を照明する照明手段と、円筒型圧電アクチュエーターの外側から試料を斜めに照明する斜照明手段と、試料を光学的に観察する光学顕微鏡手段とを備えており、光学観察は倍率に基づいて選択された照明手段と斜照明手段のいずれかを用いて行われる、光学顕微鏡一体型走査型プローブ顕微鏡。

【請求項2】 請求項1において、光学観察が低倍率のときは照明手段を用いて位相差観察法による観察を行い、光学観察が高倍率のときは斜照明手段を用いて変調コントラスト法による観察を行う、光学顕微鏡一体型走査型プローブ顕微鏡。

【請求項3】 請求項1において、光学観察が高倍率のときは位相差リングの一部を用いた斜め方向から照明光を導入するようにした斜照明位相差観察法により観察を行う、光学顕微鏡一体型走査型プローブ顕微鏡。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は走査型プローブ顕微鏡に関し、特に試料を光学的に観察する光学顕微鏡が組み込まれた光学顕微鏡一体型走査型プローブ顕微鏡に関する。

【0002】

【従来の技術】 走査型プローブ顕微鏡は、試料と探針の間の相互作用に基づいて、試料の凹凸や物性値をサブミクロンからサブnmオーダーの分解能で測定する装置である。IBMが特公昭63-309802号において提案した原子間力顕微鏡は、弾性体に支持された探針と試料の間に働く力を弾性体の変位として検出し、これに基づいて試料の凹凸や物性値を測定する装置であり、走査型プローブ顕微鏡の代表的なものである。

【0003】 走査型プローブ顕微鏡では、水平方向の走査や上下方向の位置制御は、円筒型圧電アクチュエーターを用いて行われるのが一般的である。また、試料と探針の位置決めのために、光学顕微鏡を組み込んだ走査型プローブ顕微鏡が知られている。この種の装置では、例えば特開昭63-506701号に開示されるように、光学顕微鏡はその光軸が探針の軸に揃うように組み込まれるのが一般的である。

【0004】 光学顕微鏡観察においては、生物試料等の透過率の高い試料の観察には一般に透過照明が使用される。また、明視野観察においては、コントラストの付き難い透明試料を可視化する手段として、位相差観察法、

微分干渉法、変調コントラスト法("Modulation contrast microscope", Applied Optics, Vol.14 (1975))などが知られている。

【0005】 従来例の光学顕微鏡一体型走査型プローブ顕微鏡について図4を用いて説明する。図4から分かるように、この走査型プローブ顕微鏡には、透過照明のための照明系10であって、しかも位相差観察法による観察を可能にする照明系10を持つ倒立型光学顕微鏡が組み込まれている。照明系10は、ベース2に立てられた支柱4の上端に設けられたアーム6に支持されている。照明系10は、光源12、コレクタレンズ14、スライダ16、コンデンサレンズ18を有している。スライダ16は、位相差観察用のリング開口16aと光を透過する透光部16bを持ち、光路を横切って移動可能であり、必要に応じてリング開口16aを光路中に配置することができる。

【0006】 支柱4にはZステージ20が設けられている。Zステージ20は、支柱4に固定された固定部20aと、固定部20aに対して移動可能に支持された移動部20bとを有しており、移動部20bに固定されたアーム22には円筒型圧電アクチュエーター24の上端部が固定されている。円筒型圧電アクチュエーター24の下端にはヘッド30が固定されている。ヘッド30の下側にはカンチレバーチップ40が取り付けられる。カンチレバーチップ40は、支持部から延びた梁部を有し、その先端の下側には突起部が形成されている。ヘッド30は、取り付けられたカンチレバーチップ40の梁部の変位を検出する変位検出系を内部に備えている。この変位検出系は、レーザーダイオード32、フォーカスレンズ34、全反射ミラー（もしくはダイクロイックミラー）36、複数の受光領域を持つフォトダイオード38とで構成されており、カンチレバーチップ40の梁部の変位は、フォトダイオード38に入射する梁部からの反射光ビームの位置に基づいて求められる。

【0007】 試料を載せたスライドガラス50は、支柱4に固定された試料台52の上に置かれる。試料台52の下には位相差観察用の対物レンズ58が配置され、対物レンズ58はベース2に立てた保持部材54に固定されている。対物レンズ58の下方には反射ミラー62が配置されており、その反射光路上には顕微鏡像観察用のCCDカメラ66が配置されている。

【0008】 この構成において、コンデンサレンズ18の作動距離(WD)は182mm、円筒型圧電アクチュエーター24は内径が28mmφで長さは80mm、ヘッド30の高さは20mmである。従って、円筒型圧電アクチュエーター24の上端の開口のNAは0.14(=14/(14²+100²)^{1/2})である。コンデンサレンズ18のNAは0.1であるから、コンデンサレンズ18からの照明光は円筒型圧電アクチュエーター24によって妨害されることはない。このとき、4倍、

10倍、20倍の倍率の対物レンズが使用することができる。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】これまでの走査型プローブ顕微鏡では、光学顕微鏡の照明は、対物レンズの光軸に一致する方向からの落射照明か、円筒型圧電アクチュエーターの内側を通しての透過照明のいずれかである。

【0010】図4の装置は、円筒型圧電アクチュエーター24の内側を利用した透過照明であり、照明のNAは、円筒型圧電アクチュエーター24の上端の開口によって制限されるので、コンデンサレンズ18にNAの大きなものを用いても、0.14より大きくすることはできない。このときの分解能は、対物レンズ58のNAが0.6の場合でも、可視光波長570nmの光に対して940nmである。

【0011】さらに、図4の装置で位相差観察法による観察を行う場合、使用できる対物レンズの倍率はせいぜい20倍で、この観察法で一般に良く使用されている40倍の対物レンズを使用することはできない。その理由は、40倍の対物レンズはNAが0.55ないし0.6であるため、この対物レンズに対応したリング開口は円筒型圧電アクチュエーターの上端の開口の外側に来ってしまうからである。本発明の目的は、高倍率の対物レンズを用いて光学顕微鏡観察を行える光学顕微鏡一体型走査型プローブ顕微鏡を提供することである。

【0012】

【課題を解決するための手段】本発明は、探針先端と試料表面の間の相互作用を検出しながら探針と試料の間で走査を行って試料の凹凸情報や物性情報を取得する走査型プローブ顕微鏡において、探針と試料の間の走査を行うための円筒型圧電アクチュエーターと、円筒型圧電アクチュエーターの内側を通して試料を照明する照明手段と、円筒型圧電アクチュエーターの外側から試料を斜めに照明する斜照明手段と、試料を光学的に観察する光学顕微鏡手段とを備えており、光学観察は倍率に基づいて選択された照明手段と斜照明手段のいずれかを用いて行われる。

【0013】特に、光学観察が低倍率のときは照明手段を用いて位相差観察法による観察を行い、光学観察が高倍率のときは斜照明手段を用いて変調コントラスト法による観察、または、位相差リングの一部を用いた斜め方向から照明光を導入するようにした斜照明位相差観察法による観察を行う。

【0014】

【発明の実施の形態】第一の実施の形態の走査型プローブ顕微鏡について図1と図2を用いて説明する。本実施形態の走査型プローブ顕微鏡は、二系統の照明系を備えた倒立光学顕微鏡が組み込まれており、位相差観察法と変調コントラスト法による試料観察を行うことができ

る。

【0015】図1に示されるように、透過照明のための照明系10は、位相差観察法による観察を可能にするものであり、ベース2に立てられた支柱4の上端に設けられたアーム6に支持されている。照明系10は、光源12、コレクタレンズ14、スライダ16、コンデンサレンズ18を有している。スライダ16は、位相差観察用のリング開口16aと光を透過する透光部16bを持ち、光路を横切って移動可能であり、必要に応じてリング開口16aを光路中に配置することができる。

【0016】支柱4にはZステージ20が設けられている。Zステージ20は、支柱4に固定された固定部20aと、固定部20aに対して移動可能に支持された移動部20bとを有しており、移動部20bに固定されたアーム22には円筒型圧電アクチュエーター24の上端部が固定されている。円筒型圧電アクチュエーター24の下端にはヘッド支持部材26を介してヘッド30が固定されている。ヘッド30は、従来例(図4)で説明したものと同じ構成であるが、その向きは90度異なっている。ヘッド30の下側にはカンチレバーチップ40が取り付けられる。カンチレバーチップ40は、支持部から延びた梁部を有し、その先端の下側には突起部が形成されている。ヘッド30は、取り付けられたカンチレバーチップ40の梁部の変位を検出する変位検出系を内部に備えている。この変位検出系は、レーザーダイオード32、フォーカスレンズ34、全反射ミラー(もしくはダイクロイックミラー)36、複数の受光領域を持つフォトダイオード38とで構成され、カンチレバーチップ40の梁部の変位は、フォトダイオード38に入射する梁部からの反射光ビームの位置に基づいて求められる。

【0017】試料を載せたスライドガラス50は、支柱4に固定された試料台52の上に置かれる。試料台52の下には、複数の対物レンズが取り付け可能で、そのうちの一つを選択的に試料の下方に配置させるレボルバー56が配置されている。レボルバー56には、位相差観察法による観察のための比較的低倍率の対物レンズ58と、変調コントラスト法による観察のための高倍率高NAの対物レンズ60が取り付けられている。試料下に配置された対物レンズの下方には、反射ミラー62が配置されており、その反射光路上には顕微鏡像観察用のCCDカメラ66が配置されている。CCDカメラ66の手前には、変調コントラスト法による観察の際に、モジュレーター68が選択的に配置される。

【0018】円筒型圧電アクチュエーター24の外側には、変調コントラスト法による観察のための試料を斜め方向から照明する斜照明系70が設けられている。この斜照明系70は、光源72、回転可能に支持された偏光板76、出し入れ可能なスリット78、スリット78に固定された偏光板80、コンデンサレンズ82とで構成されており、スリット78はコンデンサレンズ82の前

側焦点面に配置されている。ヘッド支持部材26は、斜照明系70から射出された照明光を遮らないよう、図2に示すように、符号28で示される角度範囲が切り欠かれている。これに呼応して、ヘッド30も、変位検出系の各構成要素が照明光が遮らない向きで取り付けられている。

【0019】図1の構成において、位相差観察法のための照明系10のコンデンサレンズ18のNAは0.1である。一方、円筒型圧電アクチュエーター24の内径は28mmであり、14mmの半径の円に対して10 $NA=0.1$ となる高さは139mmであるから $(14 / (14^2 + 139^2))^{1/2} = 0.1$ 、円筒型圧電アクチュエーター24の上端の位置を試料位置から139mm上方に設定しても位相差観察を行うことができる。試料移動のために探針を上下させる高さを2mmとすると、円筒型圧電アクチュエーター24の上端の位置は、試料位置から137mm上方まで許される。円筒型圧電アクチュエーター24の長さを80mmとすると、円筒型圧電アクチュエーター24の下端から試料までの距離は57mmになる。この外周部のNAは $n \sin \beta = 1$ 20 $6/59 = 0.27$ になる。

【0020】 $NA < 0.1$ の範囲では、照明系10を用いて、円筒型圧電アクチュエーター24の内側を通して照明され、 $NA > 0.27$ の範囲では、斜照明系70を用いて、円筒型圧電アクチュエーター24の外側から斜めに照明される。つまり、20倍までの倍率の対物レンズ58に対しては、照明系10を用いて位相差観察法による観察が行われ、それ以上の倍率の対物レンズ60に対しては、斜照明系70を用いて変調コントラスト法による観察が行われる。対物レンズ60のNAは、40倍 30の倍率では0.6であり、60倍の倍率では0.7である。図1には、NAが0.27、0.6、0.7の角度を点線で示してある。

【0021】このように本実施形態では、4倍から20倍まで倍率の対物レンズに対しては位相差観察法による観察を行い、それ以上の倍率の対物レンズに対しては変調コントラスト法による観察を行う。

【0022】位相差観察法による観察を行う場合、レボルバー56の切り換えにより比較的低倍率の対物レンズ58を試料の下方に配置する。このとき、モジュレーター68は光路上から外しておく。また、スライダー16はリング開口16aを光路上に配置する。この状態で照明系10を用いて照明すると、CCDカメラ66において、試料は、厚さの違いに応じて明暗のコントラストのついた像として観察される。なお、スライダー16は透光部16bを光路上に配置すれば、透過照明による通常の顕微鏡観察となる。

【0023】変調コントラスト法による観察を行う場合、レボルバー56の切り換えにより高倍率高NAの対物レンズ60を試料の下方に配置し、対物レンズ60の 50

射出瞳面にモジュレーター68を配置する。モジュレーター68は、透過率の低い暗黒部と、透過率の中庸な灰色部と、透過率の高い透明部とを持ち、灰色部がスリット78の開口と共役な位置になるように位置調整する。この状態で斜照明系70を用いて照明すると、CCDカメラ66において、試料は、厚さの違いによる傾斜に応じて明暗のコントラストのついた像として観察される。

【0024】本実施形態は、種々多くの変形や応用が可能である。例えば、対物レンズ58と60はレボルバー56に取り付けてあるので、レボルバー56にスイッチ等の対物レンズの倍率を信号化する手段を付加して、対物レンズの倍率に応じて使用する照明系（照明系10と斜照明系70のいずれか）が自動的に切り替えられる構成としてもよい。

【0025】また、NAの小さい対物レンズ、例えば倍率10倍の対物レンズ（ $NA=0.25$ ）や倍率4倍の対物レンズ（ $NA=0.13$ ）に対して、斜照明系70を用いて照明を行うことで、暗視野照明を実現してもよい。

【0026】＜第二の実施の形態＞第二の実施の形態について図3を用いて説明する。図3には走査型プローブ顕微鏡の一部のみを示し、第一の実施の形態で説明した部材と同等の部材は、第一の実施の形態の部材の符号に100を加えた符号で示してある。

【0027】本実施形態では、円筒型圧電アクチュエーター124は下端のNAが0.4よりも大きくなっている。斜照明系170は、試料台152の上に設けられたxyzθステージ184により支持されている。xyzθステージ184は、ベース186上に設けられたx方向に移動可能なxテーブル188、xテーブル188の上に設けられたy方向に移動可能なyテーブル190、yテーブル190の上に設けられた角度可変なθテーブル192、θテーブル192に対して高さ方向に移動可能なzテーブル194とを備えている。

【0028】ヘッド支持部材126は長さが25mmで、一部が大きく切り欠かれており、その切り欠き部を利用してミラー198が配置され、またその下方には、ミラー198と斜照明系170を光学的に接続するためのミラー196が配置されている。図には示されていないが、ミラー196とミラー198は共に斜照明系170の筐体に取り付けられている。斜照明系170は、対物レンズのNAが0.27の角度と0.6の角度の間に対応している。なお、xテーブル188のストロークは、探針設置時等にミラー198と196が邪魔にならないように退避させることが可能なように非常に大きくとってある。

【0029】NAが0.27よりも小さい対物レンズを使用する場合は、照明は円筒型圧電アクチュエーター124の内側を通して行われ、NAが0.27よりも大きい対物レンズを使用する場合は、照明は斜照明系170

を用いて円筒型圧電アクチュエーター124の外側から斜めに行われる。

【0030】本実施形態では、円筒型圧電アクチュエーター124に太いものを使用しているため、耐震性の面で優れており、振動等による画像劣化が低く抑えられる。

＜第三の実施の形態＞次に、第三の実施の形態について図2と図5を用いて説明する。図5には、本発明における第三の実施の形態の走査型プローブ顕微鏡の一部のみを示す。なお、第一の実施の形態で説明した部材と同等の部材は、第一の実施の形態の部材の符号に200を加えた符号で示してある。

【0031】本実施形態の特徴とする部分は、高倍率かつ高NAの状態での位相差顕微鏡の透過照明方法を変形し、その構成の一部を使用していると言うことである。ここで言う高倍率かつ高NAとは、例えば、位相差オイル対物レンズ261の倍率が40～100倍程度のものである。これに対応するNAが0.7～1.3程度のものである。

【0032】通常、位相差顕微鏡は、位相差観察用対物レンズ内にリング状の位相膜を有している。また、位相差顕微鏡の照明光学系は、直接透過光が対物レンズ内の位相膜の位置を通るようにリング状の照明光が試料の全方向から照射するように構成されている。例えば、そのリングの位置を試料から見たNAで示すと0.45～0.5の位置である。さらに、このリング状の照明光は、試料を挟み対物レンズの反対側から試料を照明する構成となっている。

【0033】しかし、本実施形態にこの様な構成を用いた場合、通常の位相差観察を行う試料照明方向にプローブ顕微鏡が存在するため、試料を全方向から照明することができない。

【0034】そこで、図5に示す斜照明系270の内部を通る照明の平行光部分に、位相差観察用の照明を行うための開口を有するスリット283を配設する。なお、このスリット283は、直接光が位相差オイル対物レンズ261の内部にある位相膜（図示せず）を通る位置に配設されている。言い換えれば、スリット283は、このような高倍率位相差対物レンズであればNAにして0.45～0.50の位置を照明光が通るように、斜照明系270の内部に配設されている。また、このスリット283は、この斜照明系270から挿入、取り出しが自在となっている。さらに、第一の実施の形態と同様に、ヘッド支持部226が、この斜照明系270の照明

光を遮らないよう、図2の符号28で示される角度範囲が切り欠かれている。

【0035】この様な構成とすることで、高倍率かつ高NAの状態での光学顕微鏡に基づく位置決めが可能となる。なお、図5には、断面で見たときのNA=0.45および0.5の方向が破線で示されている。

【0036】また、この様な照明方法は、本発明の第二の実施の形態に対して用いることも可能である。さらに、変調コントラスト法では、偏光板およびスリットとモジュレーターの光学系の方向の一致が必要であったが、位相差観察法にすることにより、光軸に対して回転対象となる光学系となっているため、一箇所が偏った位置になっても位置合わせが必要なくなる。

【0037】また、光源272は、電球である必要はなく、例えば光ファイバーの様なライトガイドのような構成を上述の実施形態に用いてもよい。この様な構成とすれば、電球のような熱源をプローブ顕微鏡本体から離すことが可能となる。従って、サブミクロン以下のオーダーで試料表面形状等の測定を行うプローブ顕微鏡への熱影響を軽減し、測定精度を向上させることができる。

【0038】

【発明の効果】本発明によれば、高倍率の対物レンズを用いて光学顕微鏡観察を行える光学顕微鏡一体型走査型プローブ顕微鏡が得られ、低倍率の対物レンズに対してはこれまでと同様に位相差法による観察を行い、高倍率の対物レンズに対しては斜照明系を用いて変調コントラスト法による観察を行う。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第一の実施の形態の走査型プローブ顕微鏡を示す図である。

【図2】ヘッドの向きとヘッド支持部の切り欠きの範囲を説明する図である。

【図3】本発明の第二の実施の形態の走査型プローブ顕微鏡を部分的に示す図である。

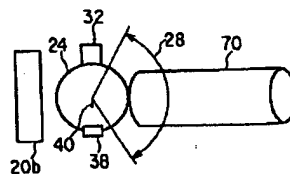
【図4】従来例の走査型プローブ顕微鏡を示す図である。

【図5】本発明の第三の実施の形態の走査型プローブ顕微鏡の一部を示す図である。

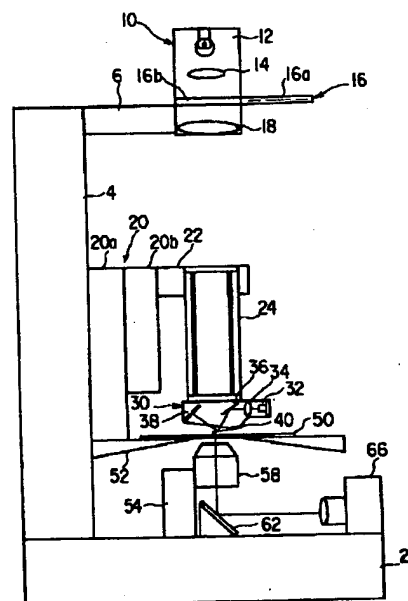
【符号の説明】

10…位相差観察法のための照明系、24…円筒型圧電アクチュエーター、58…低倍率の対物レンズ、60…高倍率の対物レンズ、70…変調コントラスト法のための斜照明系、68…モジュレーター。

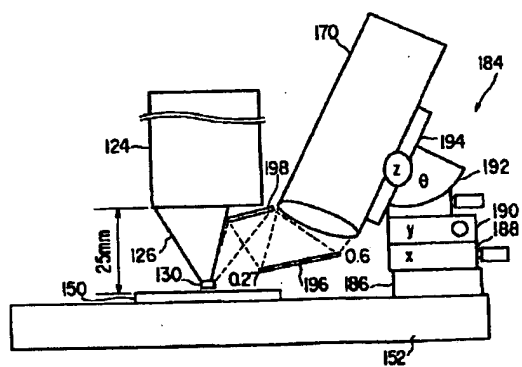
【图2】



【图4】



【图3】



【図5】

